

METODOLOGIA DE ANALISIS Y RECONSTRUCCIÓN DE DATOS PARA CAUDALIMETROS

Espín Basany, Santiago – ATLL Concessionària de la Generalitat de Catalunya, SA.
Valero, Fernando - ATLL Concessionària de la Generalitat de Catalunya, SA.
Quevedo, Joseba - UPC Universitat Politècnica de Catalunya.

SUMARIO

ATLL en el marco de un convenio de colaboración de I+D+i con el Centro de Investigación CS²AC de la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC), ha desarrollado una herramienta informática en base a algoritmos matemáticos que permite fiabilizar la medida de los caudalímetros del sistema de abastecimiento Ter-Llobregat. Dicho sistema está compuesto por 1000 Km de tuberías, 64 estaciones de bombeo y 165 depósitos, en 1800 Km² de territorio que abastece a más de 4,5 M de habitantes. Contiene más de 200 caudalímetros instalados en tuberías de un tamaño que va desde los 200mm a los 3000mm de diámetro. La red está intercomunicada y garantiza la continuidad del servicio mediante aportación de los diferentes puntos de producción (ETAPs e IDAMs), con una gestión que incluye cambios de sentido en la propia red.

Las infraestructuras críticas (CIS), como el caso de la red de transporte de agua potable operada por ATLL, son sistemas complejos a gran escala, distribuidos geográficamente y descentralizados con una estructura jerárquica, que requieren esquemas de supervisión y control en tiempo real (RTC) altamente sofisticados para garantizar un alto rendimiento y comportan un elevado mantenimiento cuando las condiciones no son favorables debido, por ejemplo, a mal funcionamiento del sensor (desviaciones, desplazamientos, problemas de baterías, problemas de comunicación,...). En este marco, la medida de los caudales mediante sistemas de control automatizados es de vital importancia para el sistema, pues dan información relacionada con la calidad, cantidad y continuidad del suministro.

El desarrollo del estudio comporta el uso de tres modelos basados en diferentes algoritmos que permiten evaluar las medidas automáticas (horarias) y proponer la bondad de la medida diaria o su posible error, llevando en este caso a una reconstrucción específica del valor. Una vez que los datos son fiables, es clave disponer de un proceso para transformar estos datos validados en información útil y conocimiento, para el plan operativo en tiempo real (RTC). Además, presenta el valor añadido de incorporar conocimientos útiles sobre los activos y la instrumentación (sectores de tuberías y depósitos, caudalímetros, sensores de nivel, etc...) de la red para planes de gestión a corto, mediano y largo plazo.

El resultado de estas comprobaciones se recoge diariamente en un informe que es analizado por los técnicos para validar el estado de la red de abastecimiento y alertar si fuera necesario de averías o pérdidas de la información necesaria para atender a los clientes.

PALABRAS CLAVE

Análisis de datos, Validación de datos, Reconstrucción de datos, Series temporales, Caudalímetros.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Infraestructura Crítica como el caso de la red de distribución de agua potable de ATLL, son sistemas complejos de gran escala, distribuidos geográficamente y descentralizados con una estructura jerárquica, que requieren sistemas de control en tiempo real altamente sofisticados que garanticen un alto rendimiento y mantenimiento cuando las condiciones no son

favorables debido, por ejemplo, a mal funcionamiento de los sensores (averías, problemas de baterías, problemas de comunicación, etc.). La fiabilidad de la información es la base para tomar decisiones que optimicen el gasto de energía y reduzcan las pérdidas de agua al tiempo que garanticen un suministro adecuado a los consumidores en cantidad y calidad a pesar de las demandas cambiantes. El objetivo principal de esta metodología es validar los datos brutos de los sensores (en este caso caudalímetros) y, si los datos no son consistentes, intente estimarlos para reconstruirlos manteniendo un sistema de base de datos fiable, segura y completa. Este procedimiento permite tratar, filtrar, depurar y completar todos los datos brutos recibidos y transformarlos en información útil; primero, como diagnóstico de anomalías y, finalmente, para controlar y gestionar de manera óptima el sistema de distribución de agua.

SISTEMA DE VALIDACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

ATLL es una empresa dedicada al tratamiento y distribución de agua potable en alto volumen para consumo humano en la ciudad de Barcelona y el área metropolitana circundante que suministra a 4,5 millones de habitantes con una demanda anual aproximada de 240 hectómetros cúbicos a través de 1000 km de tuberías con diámetros de hasta 3000 mm. Su responsabilidad en términos de calidad, cantidad y continuidad finaliza en los depósitos de cabecera municipales donde empieza la gestión con responsabilidad municipal. Este servicio permanece sin interrupción durante los 365 días del año, las 24 horas, a través de un centro de control altamente automatizado.

El Sistema de validación y reconstrucción de datos nace por la necesidad de garantizar la fiabilidad de la información provista por un complejo sistema de telecontrol con caudalímetros que permiten saber la cantidad de agua.

Este sistema asegura que los datos se generan adecuadamente, permite el diagnóstico de anomalías, la detección de errores / averías y la identificación de registros erróneos. Por lo tanto, gracias a este sistema se puede detectar y programar la reparación y calibración de los caudalímetros defectuosos de la red, así como acelerar de manera significativa la gestión y tramitación de informes y procesos de facturación; lo que significa que tiene un impacto muy positivo en el ámbito técnico y la mejora en la eficiencia de la red.

Metodología de Validación

La validación de los datos brutos horarios implementada a ATLL está inspirada en la norma UNE 500540 (2004) que define un procedimiento para asociar niveles de calidad en la información precedente de estaciones meteorológicas automáticas. De esta manera, permite establecer unas directrices mínimas de validación de datos meteorológicas para saber a qué manipulaciones han sido sometidas y el grado de validez de la información.

El sistema de validación actualmente analiza cerca de 6700 datos al día (280 caudalímetros * 24 horas) aplicando a cada una de ellos 3 niveles de test: Comunicación, Límites, Tendencia y modelos matemáticos.

Por cada caudalímetro, el sistema revisa los 24 horarios, de esta forma certifica la validez del dato diario.

El sistema de validación, etiqueta como datos válidos aquellos que han superado todos los tests y como datos no válidos los que han fallado al menos uno de los test de validación. El conjunto de test implementados que deben pasar cada una de los datos horarios provistos por el sistema de telecontrol se muestra de forma gráfica en el siguiente diagrama.

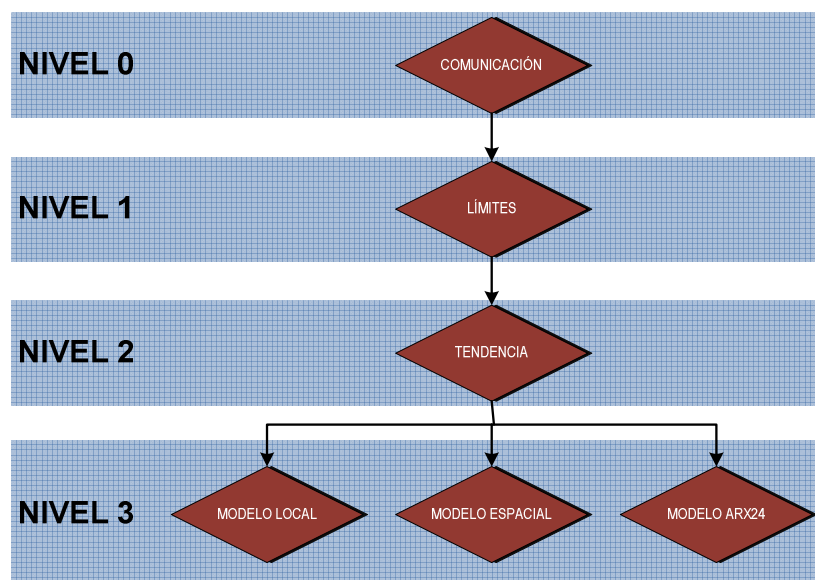


Figura 1: Diagrama de niveles de validación de datos horarios

Test Nivel 0 (Comunicación o Alarma)

Este nivel tiene como propósito validar la estructura del registro de los datos. Así, se comprueba que a la base de datos llegue adecuadamente toda la información esperada, y que ninguno de los datos medidos estén afectados con alguna alarma relacionada que pudiera mermar la calidad de la medición.

Si alguno de los datos no puede ser registrado correctamente en la base de datos operacional porque éste no ha llegado o por tener una alarma relacionada con su equipo, se considerará como NO VALIDO y pasará a ser susceptible ser reconstruido.

El nivel de comprobación tiene en cuenta las alarmas recibidas desde estaciones remotas que contienen caudalímetros. Una estación puede tener uno o más dispositivos de medición. En caso de detección de alarma, el sistema verifica si está dentro del grupo de alarmas susceptibles de comprometer la medición realizada por el dispositivo (por ejemplo, falla de voltaje, anomalía del equipo o fallo del PLC, entre otros). Si es así, esta prueba invalida el dato sin procesarlo y realiza el proceso de estimación del valor para presentarlo como una propuesta en su reconstrucción.

Test Nivel 1 (Límites)

El nivel 1 asegura que los datos estén dentro de su rango físico de trabajo. Si el valor está dentro del rango (más grande que un mínimo y menor que un máximo) el dato se considera válido en este nivel. En caso contrario, se etiquetará el dato como NO VALIDO.

Los umbrales superior e inferior son los valores máximos y mínimos físicos que son imposibles de superar por un dato coherente. Estos límites son parametrizados según análisis estadístico de su histórico.

Condición de validación: Límite inferior \leq Caudal a la hora (h) \leq Límite superior

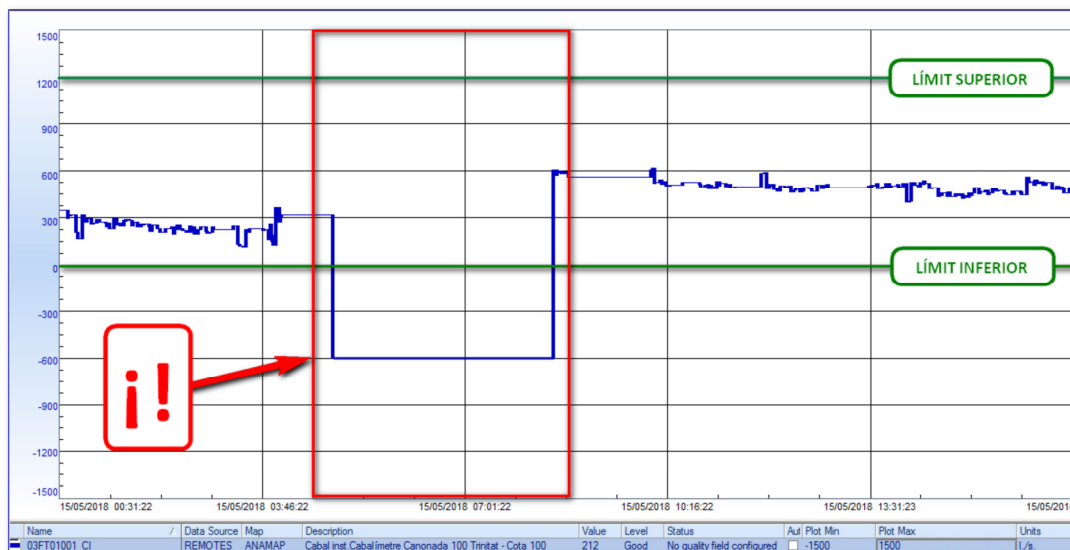


Figura 2: Invalidación de dato por no superación de nivel 1 - Límites

Test Nivel 2 (Tendencia)

El nivel de tendencia o coherencia temporal verifica si existe una variación anormal en el tiempo del dato a dos horas determinadas, ya que la diferencia entre dos valores consecutivos no debe superar unos valores prefijados.

El nivel de tendencia valida el caudal según su crecimiento o decrecimiento. Por lo tanto, si la diferencia en valor absoluto entre el valor actual y el anterior no supera un umbral (tendencia máxima), el caudal actual es válido. En caso contrario, el dato se considera NO VALIDO.

Condición de validación: $| \text{Caudal hora } (h) - \text{Caudal hora anterior } (h-1) | \leq \text{Tendencia máxima}$



Figura 3: Invalidación de dato por nivel 2 - Tendencia

Prueba Nivel 3 (Modelos)

En este nivel de validación se utilizan tres modelos en paralelo, que validan los datos recibidos de los caudalímetros y que además de comprobar su validez, pueden estimar y proponer los valores adecuados en caso de ser necesaria su reconstrucción. Los modelos utilizados en este nivel son: Modelo Local, Modelo Espacial y Modelo de serie temporal ARX24.

Test Nivel 3a (Modelo Local)

El modelo local supervisa la posible correlación existente entre las diferentes variables en la misma estación remota (por ejemplo, el caudal con la apertura de la válvula en la misma tubería).

Este modelo aprovecha los elementos adyacentes al caudalímetro (válvulas, bombas, etc.) para vigilar la coherencia del sistema.

Un caudalímetro no debería medir caudal, si la válvula asociada está cerrada. Por el contrario, la medida realizada por un caudalímetro se considera dudosa si su válvula está abierta y no ha registrado ninguna medida.

Un caudalímetro puede tener asociadas una o varias válvulas, en este último caso se configura el sistema para tener en cuenta la lógica de posibilidades de funcionamiento en la relación caudal - válvulas.

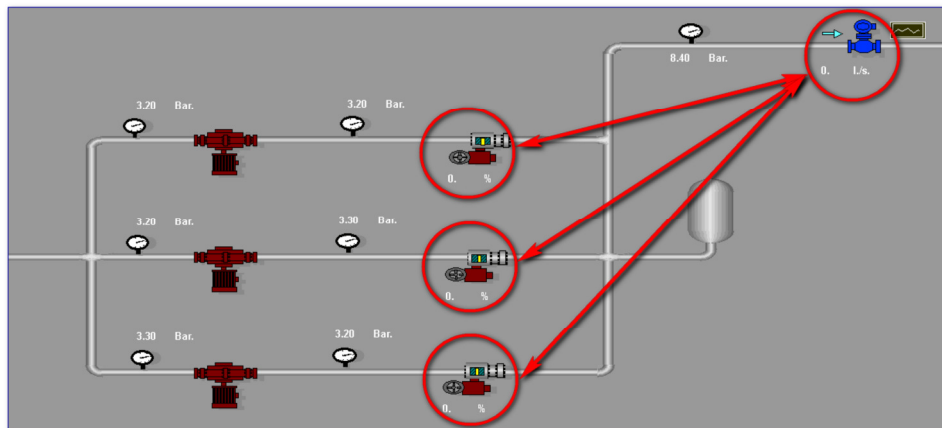


Figura 4: Nivel 3a – Test de correlación Válvula - Caudalímetro

Test Nivel 3b (Modelo Espacial Padre - Hijo)

El modelo de coherencia espacial (padre-hijo) comprueba que los valores de una misma variable medidos en el mismo instante de tiempo en estaciones cercanas no pueden diferir demasiado unos de otros. Permite saber si hay coherencia entre caudalímetros separados físicamente pero que miden el mismo caudal.

Es decir, el modelo estima la medida del caudal de entrada de un caudalímetro padre según la coherencia de la suma de las medidas del caudal de salida de uno o varios caudalímetros hijos situados en la misma tubería o tuberías derivadas cercanas entre sí.

Entre el o los caudalímetros que miden el caudal de entrada (llamado padre) y el o los caudalímetros que miden el caudal de salida (llamado hijos) podemos encontrar depósitos de agua. De este modo, entre ellos puede haber una variación de volumen $\Delta volum(h)$. Esta variación queda definida como la diferencia de volumen entre la hora $(h + 1)$ y la hora (h) . Si no hay depósito, tomaremos la $\Delta volum(h)$ como cero.

La estimación del modelo espacial para predecir el caudal en un punto determinado de la red, según la coherencia espacial con los hijos o los padres, se realiza con las siguientes expresiones matemáticas:

La estimación del hijo es: $Caudal_Hijo(h) = L \cdot (Caudal_Padre(h) - \Delta volumen(h)) + C$

La estimación del Padre es: $Caudal_Padre(h) = Caudal_Hijo(h) - C \cdot L + \Delta volum(h)$

El parámetro (L) es la pendiente y (C) el offset, que se forma al realizar una gráfica X-Y que relacione en abscisa el caudal de entrada y en ordenada el caudal de salida.

Idealmente, en una red de transporte, si todos los caudalímetros están bien calibrados y no hay fugas, el parámetro L será 1 y C será 0.

Test Nivel 3c (Modelo de serie temporal ARX24)

El caudal que pasa a través de las tuberías de una red de transporte de agua sirve para el consumo de agua de una población que generalmente presenta un comportamiento repetitivo diario y, por tanto, puede ser estimado mediante un modelo de serie temporal Auto-Regresivo (ARX).

El modelo de serie temporal aprovecha la redundancia de los datos históricos de una misma variable con comportamiento periódico para estimar un valor actual. Posteriormente, comparará la predicción a una hora con el dato real recibido, si esta diferencia en valor absoluto es inferior a un umbral prefijado, el dato se considera inválido.

Condición de validación: $| \text{Caudal}(h) - \text{Estimación_ARX24}(h) | < \text{Umbral_ARX24}$

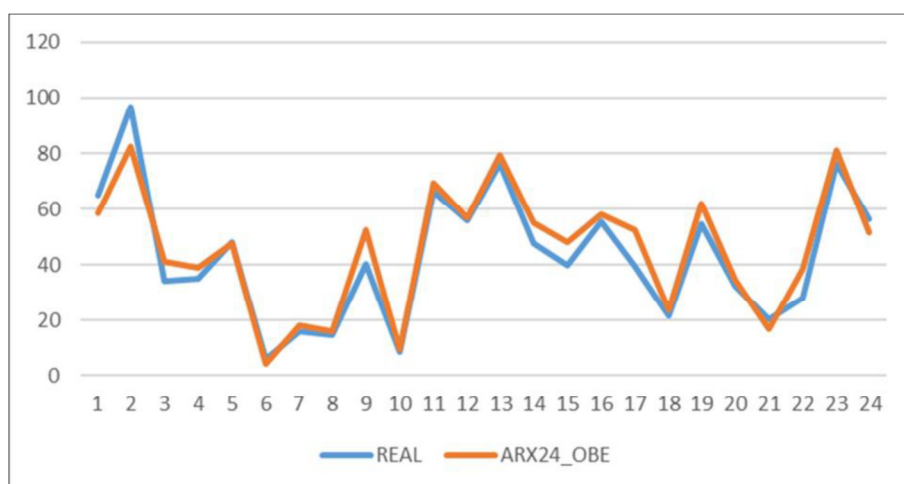


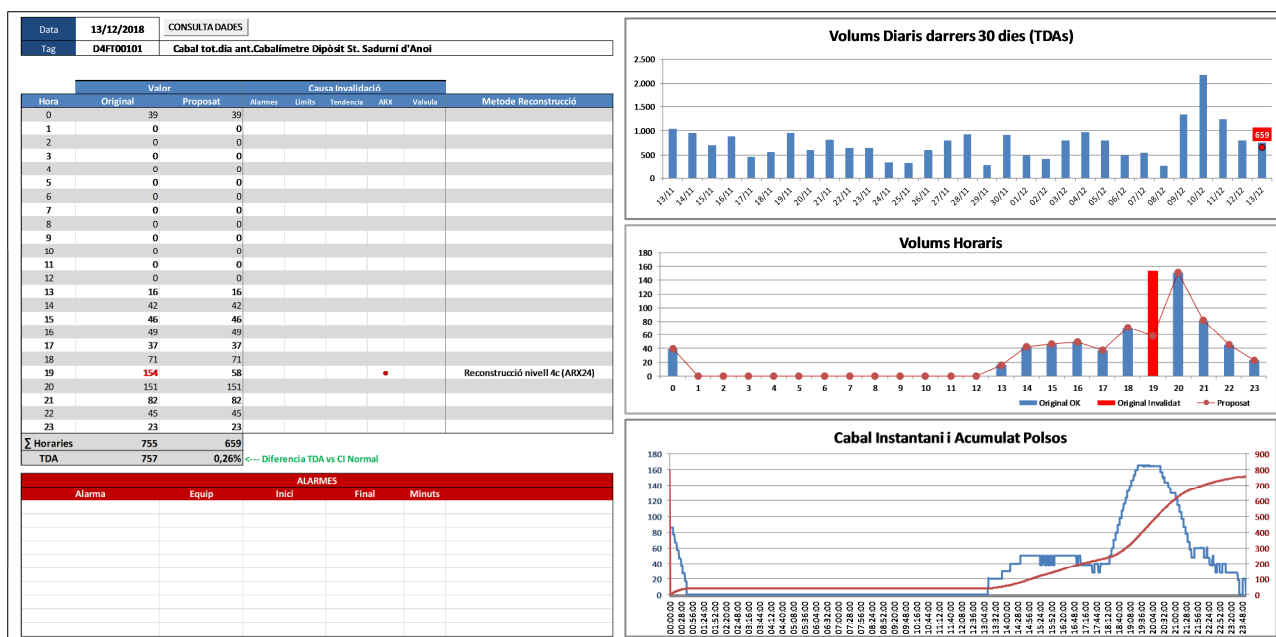
Figura 5: Nivel 3c – Ejemplo de predicción ARX24 vs dato real

Informe diario de resultados de validación / reconstrucción

Como resultado el sistema de validación/reconstrucción arroja diariamente y de forma automática un informe listando todos aquellos caudalímetros que han sido invalidados por no pasar al menos unos de los niveles de comprobación.

Estos informes son verificados por los técnicos de cada zona que, después de revisarlos, aceptan o no el veredicto del sistema y la propuesta de substitución del valor final.

Cabe señalar, que el sistema por si solo no puede sobrescribir ningún valor y por el contrario siempre estarán a disposición los valores originales medidos, los valores corregidos, el nombre de la persona que autoriza la corrección, los detalles del análisis que han llevado a tal conclusión y su justificación.



Una estrategia de validación basada en un conjunto de pruebas de calidad de datos nos permite verificar diariamente y de forma automática más de 6000 datos por hora generados por más de 200 caudalímetros, detectando datos erróneos o sospechosos en un tiempo muy corto. Luego, se define un esquema de reconstrucción utilizando modelos temporales y espaciales para proporcionar una estimación basada en el modelo que tenga el mejor ajuste. La aplicación de este sistema, desarrollado con la colaboración del Centro de Investigación CS²AC de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) ha permitido incrementar significativamente la eficiencia en la detección, no solo de fallos en los propios equipos de medición con la consiguiente reducción del tiempo de respuesta y reparación, sino que también en la detección de cambios en tendencias de consumo, ya sean causados por meras necesidades de abastecimiento de nuestros clientes, como por fugas o incidencias que anteriormente eran difíciles de detectar en un tiempo tan corto y con un coste tan reducido. Colateralmente, la aplicación de esta herramienta nos ha permitido ser más eficientes en la aportación de informes de gestión consultables por todos los departamentos de la compañía, así como también la impresionante reducción en el tiempo de respuesta a gestiones prioritarias, tal como la tramitación de la facturación mensual de volúmenes abastecidos.

D. Garcia, J. Quevedo, V. Puig, J. Saludes, S. Espin, J. Roquet, F.Valero (2014) Automatic Validation of Flowmeter Data in Transport Water Networks: Application to the ATLLc Water Network. IDEAL 2014: 15th International Conference, Salamanca, Spain, September 10-12, 2014.

J. Quevedo, V. Puig, J. Saludes, J. Pascual, S. Espin, J. Roquet, F. Valero (2014). Flowmeter data validation and reconstruction methodology to provide the annual efficiency of a water transport network: the ATLL case study in Catalonia Water science and technology: water supply. International Water Association (IWA).

J. Quevedo, J. Blanch, V. Puig, J. Saludes, S. Espin, J. Roquet (2010) Methodology of a data validation and reconstructions tool to improve the reliability of the water network supervision. In: International conference of IWA water loss, Sao Paolo, Brazil.

CONTACTO

Fernando Valero Cervera
ATLL Concessionària de la Generalitat de Catalunya, SA.
Sant Martí de l'Erm, 30. 08970 Sant Joan Despí. Barcelona.
Tel: 93 602 96 00
fvalero@atll.cat